UDC 547.79:631.461.1

Наталія Ткачук, Віктор Янченко, Наталія Демченко

МІНІМАЛЬНА ІНГІБУЮЧА КОНЦЕНТРАЦІЯ ДЕЯКИХ ПОХІДНИХ 6,7,8,9-ТЕТРАГІДРО-5Н-[1,2,4]ТРИАЗОЛО[4,3-А]АЗЕПІНУ ЩОДО АМОНІФІКУВАЛЬНИХ БАКТЕРІЙ, ВИДІЛЕНИХ З ФЕРОСФЕРИ ҐРУНТУ

Nataliia Tkachuk, Viktor Yanchenko, Nataliya Demchenko

MINIMUM INHIBITORY CONCENTRATION OF SOME 6,7,8,9-TETRAHYDRO-5H-[1,2,4]TRIAZOLO[4,3-A]AZEPINE DERIVATIVES AGAINST AMMONIFYING BACTERIA ISOLATED FROM THE SOIL FERROSPHERE

DOI: 10.58407/bht.1.23.2

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Ткачук, Н., Янченко, В., Демченко, Н., 2023

АНОТАЦІЯ

Амоніфікувальні бактерії ґрунту відіграють важливу роль як у створенні умов для перебігу процесу мікробної корозії, так і у самому процесі корозії металів. Високі антибактеріальні властивості за методом дифузії у агар проявляють сполуки 6,7,8,9-тетрагідро-5Н-[1,2,4]триазоло[4,3-а]азепіну з четвертинним атомом Нітрогену. Оцінити мінімальну антибактеріальну концентрацію сполук дозволяє метод серійного розведення сполук у рідкому поживному середовищі.

Мета роботи - дослідження чутливості амоніфікувальних бактерій, виділених з феросфери ґрунту, до деяких похідних 6,7,8,9-тетрагідро-5Н-[1,2,4]триазоло[4,3-а]азепіну за методом розведень.

Роботу здійснювали загальноприйнятим у мікробіології **методом** серійних розведень з використанням 4-добової асоціативної культури амоніфікувальних бактерій, виділеної раніше з мікробного угруповання феросфери стальної труби, що кородувала. Переважаючі представники асоціації – *Bacillus simplex* ChNPU F1, *Fictibacillus* sp. ChNPU ZVB1, *Streptomyces gardneri* ChNPU F3, *Streptomyces canus* NUChC F2. Середовищем культивування був м'ясо-пептонний бульйон; температура культивування становила 29 ± 2 ºС. Досліджувані сполуки – бромід 3-анілінометил-1-[2-оксо-2-(4-хлорофеніл)етил]-6,7,8,9-тетрагідро-5Н-[1,2,4]триазоло[4,5-а]азепінію, бромід 1-[2-оксо-2-(4-хлорофеніл)етил]-3-(4-толуїдинометил)-6,7,8,9-тетрагідро-5Н-[1,2,4]триазоло[4,3-а]азепінію, бромід 1-(2-оксо-2-фенілетил)-3-(4-толуїдинометил)-6,7,8,9-тетрагідро-5Н-[1,2,4]триазоло[4,5-а]азепінію.

Наукова новизна – методом розведень досліджено чутливість амоніфікувальних бактерій, виділених з феросфери ґрунту, до деяких похідних 6,7,8,9-тетрагідро-5Н-[1,2,4]триазоло[4,3-а]азепіну, що уточнює антибактеріальні властивості сполук, а саме їх мінімальну інгібуючу концентрацію.

Висновки – культура амоніфікувальних бактерій чутлива щодо досліджуваних четвертинних триазолоазепінієвих солей, які у концентраціях 10,3-123,5 мкг/мл проявили бактеріостатичні властивості. Найбільшу чутливість відмічено щодо сполуки ІІ (бромід 1-[2-оксо-2-(4-хлорофеніл)етил]-3-(4-толуїдинометил)-6,7,8,9-тетрагідро-5Н-[1,2,4]триазоло[4,3-а]азепінію), мінімальною інгібуючою концентрацією якої є 10,3 мкг/мл. Подальшою перспективою є визначення мінімальної бактерицидної концентрації четвертинних триазолоазепінієвих солей, зокрема, й щодо інших еколого-фізіологічних груп бактерій – агентів мікробно індукованої корозії.

Ключові слова: амоніфікувальні бактерії, метод розведень, мікробно індукована корозія, мінімальна інгібуюча концентрація, похідні 6,7,8,9-тетрагідро-5Н-[1,2,4]триазоло[4,3-а]азепіну

ABSTRACT

Soil ammonifying bacteria play an important role both in creating conditions for the course of the microbial corrosion process and in the metal corrosion process itself. Compounds of 6,7,8,9-tetrahydro-5H-[1,2,4]triazolo[4,3-a]azepine, with quaternary nitrogen exhibit high antibacterial properties by the agar diffusion method. The method of serial dilution of compounds in a liquid nutrient medium allows to estimate the minimum antibacterial concentration of compounds.

The aim of the study was to study the sensitivity of ammonifying bacteria isolated from the soil ferrosphere to some derivatives of 6,7,8,9-tetrahydro-5H-[1,2,4]triazolo[4,3-a]azepine using the dilution method.

The study was carried out by **the method** of serial dilutions generally accepted in microbiology using a 4-day associative culture of ammonifying bacteria previously isolated from the microbial community of the ferrosphere of a corroding steel pipe. The predominant representatives of the association were *Bacillus simplex* ChNPU F1, *Fictibacillus* sp. ChNPU ZVB1, *Streptomyces gardneri* ChNPU F3, *Streptomyces canus* NUChC F2. The culture medium was meat-peptone broth; the cultivation temperature was 29 ± 2 ºC. The studied compounds – bromide 3-anilinomethyl-1-[2-(4-chlorophenyl)-2-oxoethyl]-6,7,8,9-tetrahydro-5H-[1,2,4]triazolo[4,5-a]azepinium, bromide 1-[2-(4-chlorophenyl)-2-oxoethyl]-3-(4-tolylaminomethyl)-6,7,8,9-tetrahydro-5H-[1,2,4]triazolo[4,3-a]azepinium, bromide 1-(2-oxo-2-phenylethyl)-3-(4-toluidinomethyl)-6,7,8,9-tetrahydro-5H-[1,2,4]triazolo[4,5- a]azepinium.

Scientific novelty - the sensitivity of ammonifying bacteria isolated from the soil ferrosphere to some derivatives of 6,7,8,9-tetrahydro-5H-[1,2,4]triazolo[4,3-a]azepine was investigated using the dilution method, which clarifies the antibacterial properties of the compounds, namely their minimum inhibitory concentration.

Conclusions - the culture of ammonifying bacteria is sensitive to the studied quaternary triazoloazepine salts, which in concentrations of 10.3-123.5 μg/mL showed bacteriostatic properties. The highest sensitivity was noted for compound II (bromide 1-[2-(4-chlorophenyl)-2-oxoethyl]-3-(4-tolylaminomethyl)-6,7,8,9-tetrahydro-5H-[1,2,4]triazolo [4,3-a]azepinium, the minimum inhibitory concentration of which is 10.3 μg/mL. A further perspective is the determination of the minimum bactericidal concentration of quaternary triazoloazepine salts, in particular, in relation to other ecological and physiological groups of bacteria - agents of microbiologically influenced corrosion.

Key words: ammonifying bacteria, dilution method, microbiologically influenced corrosion, minimum inhibitory concentration, 6,7,8,9-tetrahydro-5H-[1,2,4]triazolo[4,3-a]azepine derivatives

Постановка проблеми

Мікроорганізми ґрунту є чинником мікробно індукованої корозії (МІК) (Andreyuk et al., 2005). Серед представників корозійно активних еколого-фізіологічних груп феросфери (зони ґрунту, що контактує з поверхнею металу, і де формується корозійно активне мікробне угруповання) активно досліджуються як літотрофні сульфатвідновлювальні бактерії (Zhang et al., 2015; Telegdi et al., 2017), так і гетеротрофні бактерії (Gu, 2014; Telegdi et al., 2017), серед яких на увагу заслуговують амоніфікувальні бактерії (АБ) (Tkachuk & Zelena, 2021a; Tkachuk et al., 2022). Амоніфікувальні бактерії продукують значну кількість екзополімерів і забезпечують створення анаеробних умов на металі, сприятливих для подальшого розвитку інших груп бактерій (Costerton et al., 1995; James et al., 1995; Pilyashenko-Novokhatny, 2000; Purish & Asaulenko, 2007). За даними дослідників на полімерних, поліетиленових і полівінілхлоридних покриттях виявляються бактерії таких таксономічних груп: *Pseudomonas aeruginosa*, *P. herbicola*, *P. fluorescens*, *P. resinovorans*, *Bacillus mesentericus* (*B. subtilis*) (Andreyuk et al., 2005). Представники роду *Bacillus* розглядаються як активні учасники біопошкодження матеріалів (Tkachuk & Zelena, 2021b). Як відомо мікроорганізми під час росту та розвитку здатні виділяти органічні та неорганічні кислоти, а також цілу низку ферментів. Розчини кислот виступають як агресивні середовища у механізмі біопошкодження ізоляційних матеріалів (Andreyuk et al., 2005). Таким чином, амоніфікувальні бактерії ґрунту відіграють важливу роль як у створенні умов для перебігу процесу мікробної корозії, так і у самому процесі корозії металів.

Раніше було показано високі антибактеріальні властивості щодо сульфатвідновлювальних та амоніфікувальних бактерій, виділених з феросфери ґрунту, у сполук [1,2,4]триазоло[4,5-a]азепінію з четвертинним Нітрогеном (Mykhalchenko et al., 2007; Musienko et al., 2008; Tkachuk & Demchenko, 2010). При цьому антимікробні властивості сполук-перспективних бактери

цидів МІК було оцінено за допомогою методу дифузії у агар. В той же час в практиці визначення антимікробних властивостей широко використовується й метод серійного розведення сполук у рідкому поживному середовищі, який дозволяє оцінити мінімальну антибактеріальну концентрацію сполук (Balouiri et al., 2016). Тому *метою* даної роботи було дослідження чутливості амоніфікувальних бактерій, виділених з феросфери ґрунту, до деяких похідних 6,7,8,9-тетрагідро-5H-[1,2,4] триазоло [4,3-a]азепіну за методом розведень.

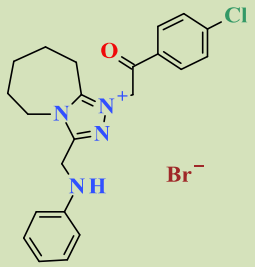
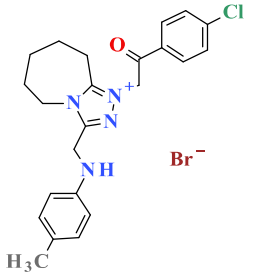
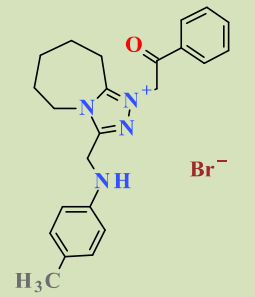
Матеріали та методи дослідження

У дослідженні використали 4-добову асоціативну культуру АБ, виділену нами раніше з мікробного угруповання феросфери стальної труби, що кородувала (Tkachuk & Zelena, 2021a; Tkachuk et al., 2022). Переважаючі представники асоціації - *Bacillus simplex* ChNPU F1, *Fictibacillus* sp. ChNPU ZVB1, *Streptomyces gardneri* ChNPU F3, *Streptomyces canus* NUChC F2 (Tkachuk & Zelena, 2021a; Tkachuk et al., 2022). Початкова чисельність бактерій становила 10^5 клітин/1 мл. Бактерії вирощували у м'ясо-пептонному бульйоні (МПБ) за температури 29 ± 2 °C.

Досліджували четвертинні сполуки триазолоазепінію, хімічні структури яких наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічні структури четвертинних триазолоазепінієвих солей

Умовне позначення	Структура	Назва
I		Бромід 3-анілінометил-1-[2-оксо-2-(4-хлорофеніл)етил]-6,7,8,9-тетрагідро-5H-[1,2,4]триазоло[4,5-a]азепінію
II		Бромід 1-[2-оксо-2-(4-хлорофеніл) етил]-3-(4-толуїдинометил)-6,7,8, 9-тетрагідро-5H-[1,2,4]триазоло [4,3-a]азепінію
III		Бромід 1-(2-оксо-2-фенілетил)-3-(4-толуїдинометил)-6,7,8,9-тетрагідро-5H-[1,2,4]триазоло[4,5-a]азепінію

Сполуки триазолазепінію розводили у МПБ за схемою, наведеною на рис. 1, з отриманням концентрацій похідних у відповідних пробірках (мкг/мл): 1) 123,5; 2) 61,7; 3) 10,3; 4) 1,7; 5) 0,3.

Визначення чисельності бактерій після інкубації (3 доби) у МПБ з відповідним розведенням сполук здійснювали методом граничних десятикратних розведень при висіві розведень у стерильний МПБ. При обробці даних використали методи математичної статистики. Чисельність мікроорганізмів у рідких поживних середовищах визначали за допомогою таблиць Мак-Креді (McCready, 1918).

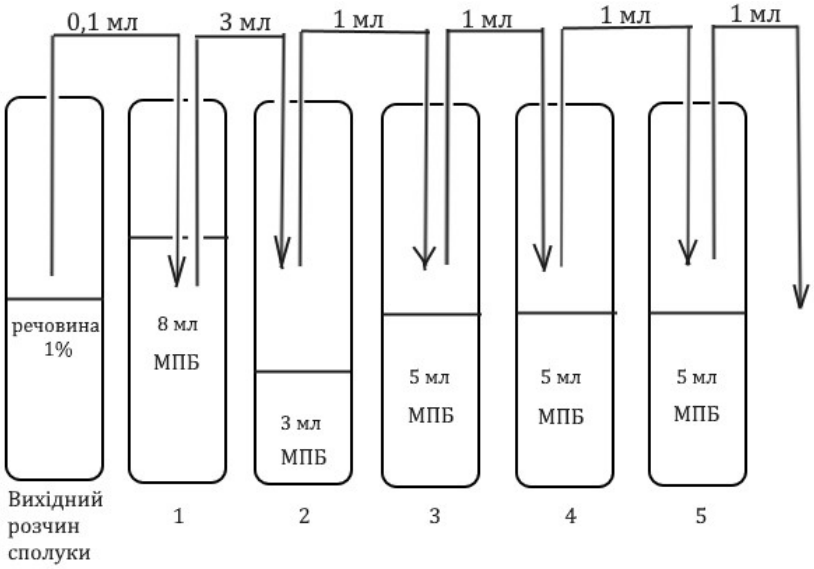


Рис. 1. Схема розведення сполук у МПБ: вихідний розчин речовини – 1%-ний спиртовий розчин відповідної речовини; 1 – 123,5 мкг/мл; 2 – 61,7 мкг/мл; 3 – 10,3 мкг/мл; 4 – 1,7 мкг/мл; 5 – 0,3 мкг/мл

Результати дослідження

Результати дослідження чутливості АБ до досліджуваних похідних методом розведень представлено на рис. 2-5 та у табл. 2. Встановлено, що у рідкому середовищі низькі концентрації сполук мають антибактеріальну дію на АБ. Так, відмічено значну різницю у візуальних ознаках розвитку бактерій у пробірках з відповідними концентраціями сполук порівняно з контролем культури та пробірками з етиловим спиртом, взятим для приготування розчинів (рис. 2-5, табл. 2).

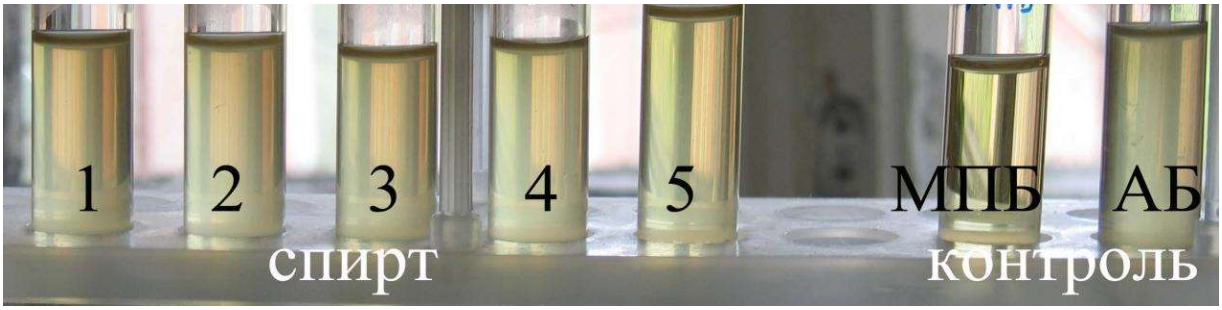


Рис. 2. Чутливість АБ щодо етилового спирту: 1 – 123,5 мкг/мл; 2 – 61,7 мкг/мл; 3 – 10,3 мкг/мл; 4 – 1,7 мкг/мл; 5 – 0,3 мкг/мл

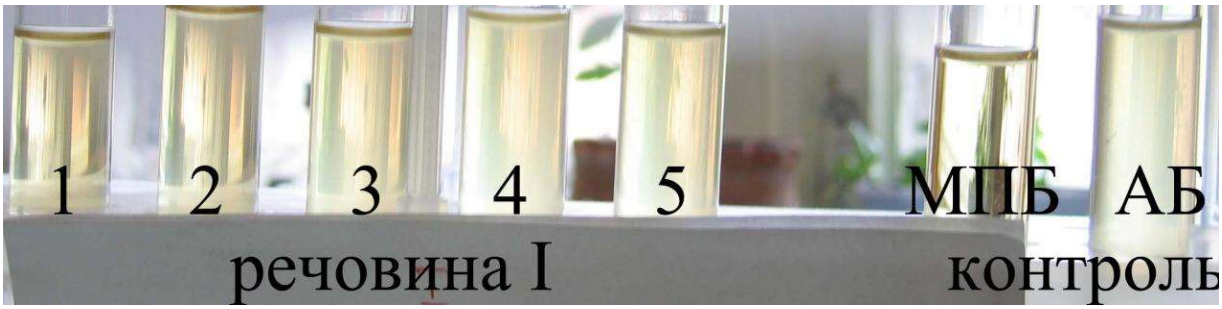


Рис. 3. Чутливість АБ щодо речовини I:
1 – 123,5 мкг/мл; 2 – 61,7 мкг/мл; 3 – 10,3 мкг/мл; 4 – 1,7 мкг/мл; 5 – 0,3 мкг/мл

Рис. 4. Чутливість АБ щодо речовини II:
1 – 123,5 мкг/мл; 2 – 61,7 мкг/мл; 3 – 10,3 мкг/мл; 4 – 1,7 мкг/мл; 5 – 0,3 мкг/мл

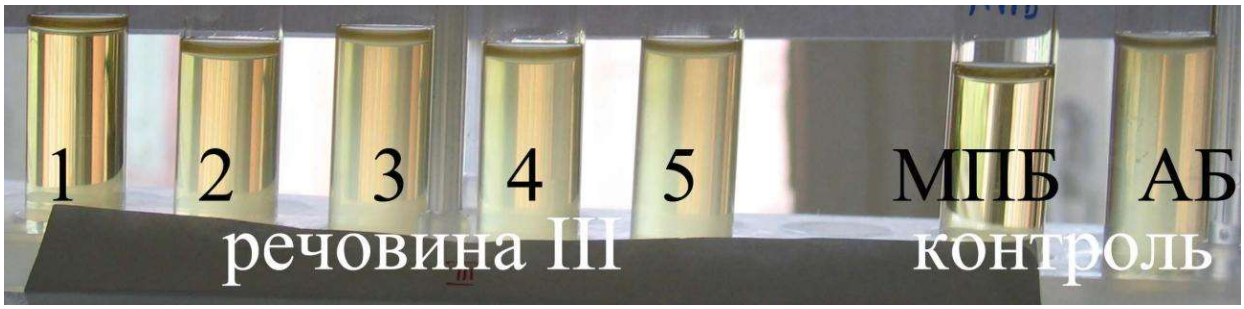


Рис. 5. Чутливість АБ щодо речовини III:
1 – 123,5 мкг/мл; 2 – 61,7 мкг/мл; 3 – 10,3 мкг/мл; 4 – 1,7 мкг/мл; 5 – 0,3 мкг/мл

Таблиця 2

Візуальні ознаки розвитку амоніфікувальних бактерій за присутності похідних 6,7,8,9-тетрагідро-5H-[1,2,4]триазоло[4,3-a]азепіну

Сполука	Номер пробірки з відповідною концентрацією сполуки (мкг/мл)				
	1 (123,5)	2 (61,7)	3 (10,3)	4 (1,7)	5 (0,3)
I	—	±	+	+	+
II	—	—	±	+	+
III	—	±	+	+	+

Примітка: — – МПБ прозорий, незначний осад;
± – слабка каламутність МПБ, незначний осад;
+ – МПБ каламутний, є осад.

Візуальні ознаки розвитку культури АБ за присутності досліджуваних сполук показали найбільшу чутливість бактерій щодо сполуки ІІ (рис. 2-5, табл. 2). Так, за концентрацій 123,5 мкг/мл та 61,7 мкг/мл каламутність МПБ слабка, є незначний осад (рис. 4, табл. 2). Такі ознаки можуть вказувати як на загибель бактерій, так і на пригнічення їх розвитку. Проведене дослідження з визначення чисельності бактерій показало, що сполука ІІ проявляє бактеріостатичну дію за концентрацій 123,5 мкг/мл та 61,7 мкг/мл – бактерії не загинули, але їх значно менше, ніж в контролі – 1,9-2,7 × 10^1 та 1,2 × 10^7 клітин/мл відповідно. Антимікробні (бактеріостатичні) властивості сполуки ІІ відмічено і за концентрації 10,3 мкг/мл. При цьому чисельність АБ становила 4,9 × 10^4 клітин/мл, що менше, ніж у контролі, у 245 разів. Отже, мінімальна інгібуюча концентрація сполуки ІІ становить 10,3 мкг/мл.

Амоніфікувальні бактерії виявились чутливими і до сполук І і ІІІ за концентрацій 123,5 та 61,7 мкг/мл (рис. 3 та 5, табл. 2). Так, за концентрації 123,5 мкг/мл чисельність бактерій становила, відповідно, 1,7 × 10^1 та 2,6 × 10^1 клітин/мл, що в 4 × 10^5 – 7 × 10^5 разів менше, ніж у контролі. За концентрації 61,7 мкг/мл чисельність бактерій становила 2,8 × 10^2 клітин/мл (сполука І) та 3,2 × 10^2 клітин/мл (сполука ІІІ). Але за концентрації 10,3 мкг/мл антимікробних властивостей у сполук І та ІІІ не зафіксовано, оскільки чисельність бактерій була на рівні контролю (1,7 × 10^7 клітин/мл). Отже, мінімальна інгібуюча концентрація сполук І та ІІІ становить 61,7 мкг/мл.

Механізм біоцидної активності четвертинних сполук можна класифікувати за їх типом (Nadagouda et al., 2022). Взаємозв'язок між хімічними структурами четвертинних сполук та їх антимікробною активністю враховує гідрофобність, довжину алкільного ланцюга тощо (Zhao et al., 2008; Li et al., 2018; Liu et al., 2019). Антибактеріальний механізм мономерних четвертинних солей полягає в тому, що сполуки адсорбуються на клітинній стінці бактерій і проникають крізь неї (Tischer et al., 2012), реагують з ліпідами або білками клітинної мембрани, внаслідок чого відбувається дезорганізація структур і витік низькомолекулярних компонентів. Відбувається лізис клітинної стінки та повна дезорієнтація структури клітини (Tischer et al., 2012). Наразі є повідомлення зв'язку антибактеріальної активності четвертинних сполук та довжини алкільного ланцюга. Найкращу антибактеріальну активність проявляли сполуки з довжиною вуглецевого ланцюга 10–16 (Buffet-Bataillon et al., 2001). Димерні четвертинні сполуки демонструють ширшу активність і нижчу мінімальну інгібуючу концентрацію, ніж мономерні. Дослідники вважають, що механізм дії димерних четвертинних сполук полягає у заміні іонів магнію, присутніх у зовнішніх частинах клітинної мембрани, на частинки поверхнево-активної речовини. Внаслідок утворюються горбки та бульбашки (оскільки розмір четвертинних сполук більший, ніж іонів магнію), в результаті чого пригнічуються дихальні ферменти та інші компоненти мембрани (Nadagouda et al., 2022).

Висновки

Таким чином, культура амоніфікувальних бактерій чутлива до досліджуваних четвертинних триазолоазепінієвих солей, які у концентраціях 10,3-123,5 мкг/мл проявили бактеріостатичні властивості. Найбільшу чутливість відмічено щодо сполуки бромід 1-[2-оксо-2-(4-хлорофеніл)етил]-3-(4-толуїдинометил)-6,7,8,9-тетрагідро-5Н-[1,2,4] триазоло[4,3-а]азепінію, мінімальною інгібуючою концентрацією якої є 10,3 мкг/мл. Подальшою перспективою є визначення мінімальної бактерицидної концентрації четвертинних триазолоазепінієвих солей, зокрема, й щодо інших еколого-фізіологічних груп бактерій – агентів мікробно індукованої корозії.

References

Andreyuk, K., Kozlova, I., Koptieva, Zh., Pilyashenko-Novokhatny, A., Zanina, V., & Purish, L. (2005). Microbial Corrosion of Underground Structures Naukova Dumka, Kyiv. (in Ukrainian)

Мікробна корозія підземних споруд / К.І. Андреюк, І.П. Козлова, Ж.П. Коптєва та ін. Київ: Наук. думка, 2005. 258 с.

Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibnsouda, S.K. (2016). Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review. *J. Pharm. Anal., 6*(2), 71–79. https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005

Buffet-Bataillon, S., Tattevin, P., Bonnaure-Mallet, M., & Jolivet-Gougeon, A. (2001). Emergence of resistance to antibacterial agents: the role of quaternary ammonium compounds: a critical review. *Int. J. Antimicrobial Agents*, *39*, 381–389. https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2012.01.011

Costerton, J. W., Lewandowski, Z., Caldwell, D. E., Korber, D. R., & Lappin-Scott, H. M. (1995). Microbial biofilms. *Annual review of microbiology*, *49*, 711–745. https://doi.org/10.1146/annurev.mi.49.100195.003431

Gu, T. (2014). Theoretical modeling of the possibility of acid producing bacteria causing fast pitting biocorrosion. *Journal of Microbial & Biochemical Technology, 6*, 068–074. https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000124

James, G.A., Beaudette, L., & Costerton, J.W. (1995). Interspecies bacterial interactions in biofilm. *J. Ind. Microbiol., 15*(4), 237–262. https://doi.org/10.1007/BF01569978

Li, M., Liu, X., Liu, N., Guo, Z., Singh, P.K., & Fu, S. (2018). Effect of surface wettability on the antibacterial activity of nanocellulose-based material with quaternary ammonium groups. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp., 554*, 122–128. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2018.06.031

Liu, J., Dong, C., Wei, D., Zhang, Z., Xie, W., Li, Q., & Lu, Z. (2019). Multifunctional antibacterial and hydrophobic cotton fabrics treated with cyclic polysiloxane quaternary ammonium salt. *Fibers and Polymers, 20*, 1368–1374. https://doi.org/10.1007/s12221-019-1091-2

McCready, M. H. 1918. Tables for rapid interpretation of fermentation tube results. *Can. J. Public Health*, 9, 201.

Mykhalchenko, N.M., Demchenko, N.R., & Smykun, N.V. (2007). Biocidal action of quaternary triazoloazepine salts against sulfate-reducing bacteria. Environmental protection and rational use of natural resources: Collection of reports of the VI International scientific conference of graduate students and students. Donetsk: DonNTU, DonNU. Vol. 2. P. 148–149. (in Ukrainian)

Михальченко Н.М., Демченко Н.Р., Смикун Н.В. Біоцидна дія четвертинних триазолоазепінієвих солей щодо сульфатвідновлювальних бактерій. *Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів*: Збірка доповідей VI Міжнародної наукової конференції аспірантів і студентів. Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ, 2007. Т.2. С.148–149.

Musienko, N., Smykun, N., & Demchenko, N. (2008). Sensitivity of ammonifying bacteria to quaternary triazoloazepine salts. *Youth and the progress of biology*: collection of theses of the Fourth International Scientific Conference of students and postgraduates, April 7-10, 2008, Lviv. P.329–330. (in Ukrainian)

Мусієнко Н., Смикун Н., Демченко Н. Чутливість амоніфікувальних бактерій до четвертинних триазолоазепінієвих солей. *Молодь і поступ біології:* збірник тез Четвертої міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів, 7-10 квітня 2008 року, м. Львів. Львів, 2008. С.329–330.

Nadagouda, M.N., Vijayasarathy, P., Sin, A., Nam, H., Khan, S., Parambath, J.B.M., Mohamed, A.A., & Han, Ch. (2022). Antimicrobial activity of quaternary ammonium salts: structure-activity relationship. *Med. Chem. Res., 31*, 1663–1678. https://doi.org/10.1007/s00044-022-02924-9

Pilyashenko-Novokhatny, A.I. It is possible to distribute functions between components of corrosion-dangerous communities of microorganisms in the general process of microbially induced corrosion. Problems of corrosion and anti-corrosion protection of materials: materials IV International. conference-exhibition (Corrosion-2000). Lviv: Physics and Mechanics. Institute named after H.V. Karpenko, National Academy of Sciences of Ukraine. 2000. P. 564–567. (in Ukrainian)

Піляшенко-Новохатний А.І. Можливий розподіл функцій між складовими корозійнонебезпечними сукупностями мікроорганізмів в загальному процесі мікробно індукованої корозіїї. *Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів*: матеріали IV Міжнар. конф.-виставки (Корозія-2000). Львів: Фізико-механ. ін-т ім. Г.В.Карпенка НАН України. 2000. С. 564–567.

Purish, L.M., & Asaulenko, L.G. (2007). Dynamics of successional changes in the sulfidogenic microbial association under the conditions of biofilm formation on the steel surface. *Mikrobiol. Z., 69*(6), 19–25. (in Ukrainian)

Пуріш Л.М., Асауленко Л.Г. Динаміка сукцесійних змін у сульфідогенній мікробній асоціації за умов формування біоплівки на поверхні сталі. *Мікробіол. журн.* 2007. Т.69, № 6. С. 19–25.

Telegdi, J., Shaban, A., & Trif, L. (2017). Microbiologically influenced corrosion (MIC). *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies*. P. 193–217. Elsevier Ltd. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-101105-8.00008-5

Tischer, M., Pradel, G., Ohlsen, K., & Holzgrabe, U. (2012). Quaternary ammonium salts and their antimicrobial potential: Targets or nonspecific interactions? *ChemMedChem.*, *7*, 22–31. https:// doi.org/10.1002/cmdc.201100404

Tkachuk, N.V., & Demchenko, N.R. (2010). Antibacterial action of quaternary salts of triazoloazepine against ammonifying bacteria of the corrosion-dangerous group. *Microbiology and biotechnology*, *2*, 75–80. (in Ukrainian). https://doi.org/10.18524/2307-4663.2010.2(10).98874

Ткачук Н.В., Демченко Н.Р. Антибактеріальна дія четвертинних солей триазолоазепінію щодо амоніфікувальних бактерій корозійно-небезпечного угруповання. *Мікробіологія і біотехнологія*. 2010. №2. С. 75–80. https://doi.org/10.18524/2307-4663.2010.2(10).98874

Tkachuk, N., & Zelena, L. (2021a). Some corrosive bacteria isolated from the technogenic soil ecosystem in Chernihiv city (Ukraine). *Studia Quaternaria*, *38*(2), 101–108. https://doi.org/10.24425/ sq.2021.136826

Tkachuk, N. & Zelena, L. (2021b). The impact of bacteria of the genus *Bacillus* upon the biodamage/biodegradation of some metals and extensively used petroleum-based plastics. *Corros. Mater. Degrad., 2*, 531–553. https://doi.org/10.3390/cmd2040028

Tkachuk, N., Zelena, L., & Olhovik, Ye. (2022). Isolation of actinobacteries from the soil ferrosphere and their identification. *BHT: Biota. Human. Technology*, *1*(1), 33–44. (in Ukrainian)

Ткачук Н., Зелена Л., Ольховик Є. Виділення актинобактерій з ґрунту феросфери та їх ідентифікація. *BHT: Biota. Human. Technology*. 1(1). С. 33–44.

Zhao, T., & Sun, G. (2008). Hydrophobicity and antimicrobial activities of quaternary pyridinium salts. *J. Appl. Microbiol., 104*, 824–830. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03616.x

Zhang, P., Xu, D., Li, Y., Yang, K., & Gu, T. (2015). Electron mediators accelerate the microbiologically influenced corrosion of 304 stainless steel by the *Desulfovibrio vulgaris* biofilm. *Bioelectrochemistry (Amsterdam, Netherlands)*, *101*, 14–21. https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2014.06.010

Received: 15.02.2023. **Accepted**: 08.03.2023. **Published**: 20.07.2023.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Ткачук Н., Янченко В., Демченко Н. Мінімальна інгібуюча концентрація деяких похідних 6,7, 8,9-тетрагідро-5Н-[1,2,4]триазоло[4,3-а]азепіну щодо амоніфікувальних бактерій, виділених з феросфери грунту. *ВНТ: Biota, Human, Technology*, 2023. №1. С. 24-32

Cite this article in APA style as:

Tkachuk, N., Yanchenko, V., & Demchenko, N. (2023). Minimum inhibitory concentration of some 6,7,8,9-tetrahydro-5H-[1,2,4]triazolo[4,3-a]azepine derivatives against ammonifying bacteria isolated from the soil ferrosphere. *BHT: Biota, Human, Technology, 1*, 24-32 (in Ukrainian)

Information about the authors:

Tkachuk N. [*in Ukrainian*: **Ткачук Н.] [1],** Ph.D. in Biol. Sc., Assoc. Prof., email: nataliia.smykun@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5115-7716 *Scopus-Author ID*: 7801574248 *ResearcherID:* AAB-4448-2020
Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»,
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Yanchenko V. [*in Ukrainian:* **Янченко В.] [2],** Ph.D. in Pharm. Sc., Assoc. Prof., email: v.o.yanchenko@gmail.com
ORCID: 0000-0002-6727-4124 *Scopus-AuthorID:* 6602531355 *ResearcherID:* AAC-9900-2020
Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»,
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Demchenko N. [*in Ukrainian*: **Демченко Н.] [3],** Ph.D. in Biol. Sc., Assoc. Prof., email: nata_demch@ukr.net
ORCID: 0000-0003-1130-9962 *Scopus-Author ID*: 57190674891
Department of Biology, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»,
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

[1] Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

[2] Data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

[3] Data collection, statistical analysis.